Forêts Canada
Forestry Canada

Insecticides systémiques servant à la protection des épinettes et des pins semenciers du nord

W.H. Fogal et V.C. Plowman

Rapport d'information PI-X-92F
Institut forestier national de Petawawa

INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

Le mandat de l'Institut forestier national de Petawawa (IFNP), comme celui des autres établissements de Forêts Canada, est de promouvoir une meilleure gestion et une utilisation plus rationnelle des ressources forestières du Canada, pour le bien économique et social de tous les Canadiens. Les objectifs des programmes menés à l'Institut appuient ce mandat à travers la découverte, le développement, la démonstration, l'application et le transfert des innovations. En tant qu'institut national, il doit s'attacher à des problèmes qui débordent le cadre régional ou qui nécessitent des compétences particulières de même qu'un équipement non disponible aux installations régionales de Forêts Canada. La plupart du temps, les recherches sont effectuées en étroite collaboration avec le personnel des centres régionaux, des services forestiers des provinces et de l'industrie forestière.

Les travaux de recherche et les services techniques de l'Institut sont regroupés autour de cinq principales activités:

GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE ET BIOTECHNOLOGIE — Ce programme encadre des études sur la génétique forestière, la microbiologie, la micropropagation, la génétique moléculaire et la recherche sur les semences. Il comprend également les services à là clientèle et la banque de semences du Centre national de semences forestières. Lié à plusieurs organismes internationaux, ce centre existe depuis longtemps.

SYSTÈMES D'AMÉNAGEMENT FORESTIER — Ce programme intègre en recherche et développement des opérations concernant les incendies de forêt, la télédétection, la météorologie, la modélisation, la croissance, la récolte et le relevé des insectes et des maladies des arbres (RIMA). Il permet ainsi l'élaboration et la démonstration de systèmes d'aménagement forestier.

STATISTIQUES NATIONALES SUR LES RESSOURCES FORESTIÈRES — Ce programme fournit les renseignements biologiques, techniques et socio-économiques sur les ressources forestières du Canada. Il vise le développement des bases de données et l'établissement de nouveaux logiciels et bases de données pour aider à l'élaboration des politiques forestières. Le Programme d'inventaire forestier recueille l'information sur les forêts au niveau national, maintient le Système sur les ressources forestières canadiennes et prépare l'inventaire des forêts du Canada.

COMMUNICATIONS — Ce programme regroupe les services offerts par la bibliothèque, les travaux touchant la sensibilisation du public, les renseignements, la rédaction-révision et les publications. L'Institut reçoit plus de 20 000 visiteurs chaque année. Le Centre d'accueil, des visites autoguidées et un programme éducatif complet sont ouverts à tous. C'est à l'IFNP que l'on trouve l'entrepôt et le centre de distribution national de toutes les publications scientifiques de Forêts Canada.

LA FORÊT EXPÉRIMENTALE — Outre des peuplements naturels où l'on applique divers traitements dans le cadre des plans de recherche en sylviculture, la Forêt de Petawawa, mesurant 100 km^2, comprend de vastes superficies de plantations âgées de plus de 60 ans. Les plantations expérimentales livrent des données sur la croissance et la récolte à la suite des expériences de culture. Elles fournissent aussi du matériel génétique dont le lignage est répertorié et qui se révèlent de plus en plus utiles pour les études sur la micropropagation et la génétique moléculaire. C'est un lieu par excellence pour mettre à l'essai des stratégies d'aménagement forestier à court et à long termes.

90-06801/

INSECTICIDES SYSTÉMIQUES SERVANT À LA PROTECTION DES ÉPINETTES ET DES PINS SEMENCIERS DU NORD

W.H. Fogal et V.C. Plowman[1]

[1] *V.C. Plowman,*
Arboriste consultant G.L. (N) Farm and Forest Research Ltd.,
Oakville (Ontario), L6J 5A2

Rapport d'information PI-X-92F
Forêts Canada
Institut forestier national de Petawawa
1990

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1990
N° de catalogue Fo46-11/92-1990F
ISBN 0-662-96141-2
ISSN 0228-0736
Imprimé au Canada

Il est possible d'obtenir sans frais des exemplaires de cette publication auprès de :

Forêts Canada
Centre d'information technique et de distribution
Institut forestier national de Petawawa
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

Téléphone : 613-589-2880

Des copies ou des microfiches de cette publication sont en vente à l'adresse suivante :

Micromédia Ltée
Place du Portage
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

This publication is also available in English under the title **Systemic insecticides for protecting northern spruce and pine seed trees.**

Table des matières

Résumé/Abstract

1 Introduction

1 Revue des essais sur le terrain

1 Traitement du houppier
1 Épinette noire
7 Épinette blanche

8 Traitement du tronc
8 Épinette noire
8 Épinette blanche
9 Pin blanc

9 Traitement du sol
9 Épinette noire
9 Épinette blanche
10 Pin gris
10 Pin blanc
11 Pin rouge

11 Efficacité des insecticides

11 Synchronisation des traitements avec les habitudes alimentaires des insectes

12 Absorption, translocation et métabolisation des insecticides

12 Pertes de graines ayant une autre origine

12 Pertes de cônes

13 Importance de la récolte

13 Sommaire et conclusions

14 Remerciements

14 Bibliographie

Tableau

2 1. Essais expérimentaux, sur le terrain, d'insecticides systémiques destinés à lutter contre les insectes qui endommagent les cônes, les graines ou les aiguilles des épinettes et des pins semenciers.

La mention de marques de commerce dans ce rapport ne signifie pas que Forêts Canada ou ses employés les recommandent. Les personnes utilisant des pesticides devraient consulter les fonctionnaires locaux, provinciaux et fédéraux en matière de santé et de lutte antiparasitaire pour connaître les règlements qui s'appliquent. La prudence est conseillée.

Résumé

Il est possible de lutter contre les insectes qui nuisent aux cônes et aux graines de l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss), de l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), du pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.) et du pin blanc (*Pinus strobus* L.) à l'aide des insecticides systémiques appliqués de trois façons dans le houppier: par pulvérisation à l'aide d'un appareil à pression de liquide ou d'un nébulisateur; par injection ou implantation dans la tige; ou par incorporation dans le sol sous forme granulaire ou liquide. Des essais sur le terrain ont été effectués avec les insecticides suivants: acéphate, carbofuran, dicrotophos, diméthoate, formothion, méthomyl, oxydéméton-méthyle et phorate. Le diméthoate est homologué au Canada pour utilisation sur les épinettes par pulvérisation à pression de liquide. Le carbofuran est homologué aux États-Unis pour utilisation sur les pins du Nord par incorporation de granulés dans le sol. Même si les traitements permettent de réduire la fréquence des dommages causés aux cônes par les insectes, ils n'assurent pas toujours une augmentation du rendement en graines. Le comportement d'alimentation des insectes, l'ingestion, la translocation et le métabolisme des insecticides, les pertes de graines et de cônes dues à des facteurs autres que les insectes ainsi que l'importance de la récolte de cônes sont des facteurs critiques relativement à l'efficacité des traitements insecticides.

Abstract

Control of cone and seed insects on white spruce *Picea glauca* (Moench) Voss, black spruce *Picea mariana* (Mill.) B.S.P., red pine *Pinus resinosa* Ait., and eastern white pine *Pinus strobus* L. is possible with systemic insecticides applied to crowns in three ways: with hydraulic sprayers or mist blowers, incorporated into stems by injection or implant, or incorporated into soil in a granular or liquid form. Field trials have been conducted with acephate, carbofuran, dicrotophos, dimethoate, formothion, methomyl, oxydemetonmethyl, and phorate. Dimethoate is registered for use in Canada as a crown hydraulic spray on spruces. Carbofuran is registered in the U.S.A. for northern pines by incorporating granules into soil. While treatments reduce the frequency of insect-damaged cones, they do not always provide increases in seed yield. Insect feeding behaviour, uptake, translocation and metabolism of insecticides, losses of seeds and cones to factors other than insects, and the size of the cone crop are critical factors influencing the efficacy of insecticide treatments.

Introduction

Les travaux de reboisement forestier faits au Canada et dans le nord des É.-U. nécessitent des quantités de plus en plus grandes de graines de pins et d'épinettes nordiques. En outre, on souhaite se servir de graines génétiquement améliorées afin de s'assurer que les nouvelles forêts soient constituées d'arbres robustes à croissance rapide, qui résistent aux insectes ainsi qu'aux maladies et qui produisent des fibres et du bois de grande qualité. Ce genre de graines peut être produit dans des vergers. D'ailleurs, certains vergers à graines ont déjà commencé à produire des quantités limitées de graines génétiquement améliorées de grande valeur. Les réserves de graines de ce genre augmenteront à mesure que de nouveaux vergers, qui s'établissent maintenant, commenceront à produire (Schooley et Mullin, 1987).

Dans les vergers à graines, il est nécessaire qu'existent des programmes à long terme de sélection des arbres et des tests de descendance (Matyas et Rauter, 1987; Rauter, 1985). L'établissement de ces vergers nécessite des investissements importants, sans compter les frais annuels d'entretien encourus pendant toute leur durée de production (Bégin et Crooks, 1984; Matyas et Rauter, 1987; Morgenstern, 1982). Les gérants de ces vergers ont identifié plusieurs problèmes qui en réduisent la productivité, soit entre autres : les pertes de cônes et de graines dues aux nuisibles, en particulier aux insectes; une mauvaise production de fleurs et de cônes par les jeunes arbres; enfin, une pollinisation insuffisante (Konishi, 1981; Morgenstern et Carlson, 1979). En cette matière, il semblerait cependant que les insectes soient le principal facteur limitant : les insectes conivores et granivores sont directement responsables de la disparition de cônes et de graines, et les insectes défoliateurs et suceurs ainsi que les scolytes et les térébrants, d'une réduction indirecte de la production de cônes et de graines, voire de la mort des arbres (Dinus et Yates, 1975). Il arrive de temps en temps que les insectes menacent les réserves de graines et de scions en santé provenant des arbres sélectionnés comme matériel génétique pour les vergers. Bien des espèces sont connues qui se nourrissent directement de cônes et de graines (Hedlin et coll., 1980) et les répercussions de l'action des principaux insectes sur la production de cônes et de graines d'épinette et de pin ont été décrites (Fogal, 1979).

Plusieurs insecticides systémiques se sont avérés prometteurs pour lutter contre les insectes ravageurs des cônes et des graines. Dans ce rapport, nous faisons une revue des essais effectués dans le but de découvrir des insecticides systémiques permettant de lutter contre les insectes qui se nourrissent de cônes, de graines et d'aiguilles des épinettes et des pins semenciers. Y seront aussi traités plusieurs facteurs influant sur l'évaluation et l'efficacité des traitements : la synchronisation des traitements avec les habitudes alimentaires des insectes; l'absorption, la translocation et la métabolisation des insecticides; les pertes de cônes et de graines qui ne sont pas dues aux insectes; finalement, la quantité de cônes produits.

Revue des essais sur le terrain

Les essais ont porté sur trois modes d'épandage de l'insecticide : pulvérisation sur le houppier, injection ou implantation dans le tronc et incorporation dans le sol. Les résultats des essais sont présentés au tableau 1 et font l'objet d'une discussion ci-dessous.

1. Traitement du houppier

Des insecticides systémiques furent épandus sur le houppier d'épinettes blanches et noires portant des cônes, mais aucun essai de ce genre ne fut effectué sur les pins. Le traitement de la cime des arbres s'est fait à partir du sol au moyen d'un pulvérisateur à pression de liquide ou d'un nébulisateur en se servant d'une perche télescopique, d'une échelle ou d'une girafe; on a aussi procédé à des épandages aériens depuis des hélicoptères.

a) Épinette noire

i) Haig et McPhee (1969) se sont servi d'un nébulisateur ou d'un pulvérisateur à pression de liquide monté sur le dos pour épandre du diméthoate et de l'oxydéméton-méthyl sur la portion chargée de cônes d'arbres ayant une hauteur de 12 à 17 m. Les brouillards - qui étaient épandus jusqu'à ce que le liquide perle - renfermaient 2 % ou 5 % d'I.A. (ingrédient actif); les taux d'épandage allaient donc de 9,1 à 22,7 g (grammes) d'I.A. par arbre dans le cas du diméthoate et de 4,5 à 11,4 g d'I.A. par arbre dans celui de l'oxydéméton-méthyl. Avec les pulvérisateurs à pression de liquide, l'épandage se poursuivait jusqu'au point d'égouttement et la solution épandue renfermait 0,1; 0,5 ou 1,0 % d'I.A., soit des taux d'épandage allant de 1,1 à 13,6 g d'I.A. par arbre pour le diméthoate et de 0,6 à 6,8 g d'I.A. par arbre pour l'oxydéméton-méthyl. Les traitements furent effectués le 13 juin, de façon à coïncider avec la floraison, ou deux semaines par la suite, c'est-à-dire le 27 juin 1967.

Au cours du premier traitement au nébulisateur, les deux insecticides permirent une réduction efficace des proportions de cônes attaqués par les insectes, en particulier par la cécidomye de l'axe des cônes de l'épinette (*Dasineura rachiphage* Tripp). L'efficacité du diméthoate était supérieure, car il réduisait de 82 à 100 % le nombre de cônes endommagés alors que cette réduction allait de 39 à 72 % avec l'oxydéméton-méthyl. À un taux d'épandage identique, il se pourrait cependant que cet insecticide eût été aussi efficace que le diméthoate. L'épandage au pulvérisateur à pression de liquide per-

Tableau 1. Essais expérimentaux, sur le terrain, d'insecticides systémiques destinés à lutter contre les insectes qui endommagent les cônes, les graines ou les aiguilles des épinettes et des pins semenciers.

Modes d'épandage, espèces traitées, références et endroit géographique	Technique d'épandage, insecticide épandu, taux d'épandage et moment de l'épandage	Réduction de la défoliation (en pour cent)	Réduction du nombre de cônes endommagés (en pour cent)	Augmentation du nombre de graines pleines par cône (en pour cent)	Phytotoxicité
1. Traitement du houppier					
A) Épinette noire	*Nébulisateur à dos*				
Haig et McPhee, 1969	Diméthoate (2-5 %)				
Longlac, Ont.	9,1-22,7 g d'I.A. par arbre				
	13 juin 1967	-	86-100	-	-
	27 juin 1967	-	0-5	-	-
	Oxydéméton-méthyl (2-5 %)				
	4,5-11,4 g d'I.A. par arbre				
	13 juin 1967	-	39-72	-	-
	27 juin 1967	-	13-39	-	-
	Diméthoate (5 %)				
	15 g d'I.A. par arbre				
	11 juin 1968	-	100	-	-
	Pulvérisateur hydraulique à dos				
	Diméthoate (0,1-1,0 %)				
	1,1-13,6 g d'I.A. par arbre				
	13 juin 1967	-	50-100	-	-
	27 juin 1967	-	0-27	-	-
	Oxydéméton-méthyl (0,1-1,0 %)				
	0,6-6,8 g d'I.A. par arbre				
	13 juin 1967	-	59-100	-	-
	27 juin 1967	-	13-57	-	-
	Diméthoate (1 %)				
	12 g d'I.A. par arbre				
	11 juin 1968	-	100	-	-
(ii) Prévost, 1986	*Pulvérisateur hydraulique à dos*				
Sault-Ste.-Marie, Ont.	Diméthoate (0,044 %)	-	0-68	-	Aucune augmentation du nombre de fleurs avortées
	3.8 g d'I.A. par arbre				
	10 mai 1984				
B) Épinette blanche	*Pulvérisateur hydraulique à dos*				
(i) Hedlin, 1973	Diméthoate (0,5-1,0 %)	-	(88-99)[1]	0	Aucun effet sur la germination des graines
Houston, C.-B.	Dicrotophos (0,5-1,0 %)	-	(0)[1]	0	
	Oxydéméton-méthyl (0,5-1,0 %)	-	(0-58)[1]	0	
	Formothion (0,5-1,0 %)	-	(0-98)[1]	0	
	12 et 13 juin 1969				

Tableau 1. (suite)

Modes d'épandage, espèces traitées, références et endroit géographique	Technique d'épandage, insecticide épandu, taux d'épandage et moment de l'épandage	Réduction de la défoliation (en pour cent)	Réduction du nombre de cônes endommagés (en pour cent)	Augmentation du nombre de graines pleines par cône (en pour cent)	Phytotoxicité
(ii) Miller et Hutcheson, 1981 Ruisseau Everett, C.-B.	*Hélicoptère muni d'un pulvérisateur hydraulique* (rampe horizontale - arbres traités individuellement) Diméthoate, aérosol à 0,8 % 98,4 g d'I.A. par arbre 19 juin 1979	-	(100)[1]	43	-
Willow River, C.-B.	(Rampe en A - arbres traités individuellement Diméthoate, aérosol à 0,8 % 18,0 g d'I.A. par arbre 9 juin 1979	-	(87)[1]	-	-
Ruisseau Evans, C.-B.	(Rampe horizontale - pulvérisation sur plusieurs arbres) Diméthoate, aérosol à 2 %, pulvérisation à raison de 1,67 kg/ha 21 juin 1979	-	(68)[1]	22	-
(iii) Fogal et Lopushanski, 1985 Chalk River, Ont.	*Pulvérisateur hydraulique à dos* Diméthoate (1,0-1,5) Méthomyl (1,0-1,5) Acéphate (1,0-1,5) 1,3 - 2,5 g (I.A.)/cm (DHP) 4,30 g d'I.A. par arbre 1 et 5 juin 1979	- -	0-100 0--100 0-95	- -	Brunissement évident des aiguilles à la dose la plus élevée
2. Traitement du tronc					
A) Épinette noire	*Implantation*				
(i) West, 1987 North Pond, T.-N.	Acéphate 0,3 g (I.A.)/cm (DHP) 2,5 g d'I.A. par arbre Acecaps® 3 et 4 juin 1986	-	72-100	129	Aucune réduction de la germination des graines
(B) Épinette blanche	*Injection*				
(i) Fogal et Lopushanski, 1989 Pembroke, Ont.	Dicrotophos 1,1 g (I.A.)/cm (DHP) 28 g d'I.A. par arbre Mauget® en capsules 22 et 23 mai 1981	50-100	0-100	90-558	Aucun brunissement visible des aiguilles ni aucune réduction de la germination des graines

Tableau 1. (suite)

Modes d'épandage, espèces traitées, références et endroit géographique	Technique d'épandage, insecticide épandu, taux d'épandage et moment de l'épandage	Réduction de la défoliation (en pour cent)	Réduction du nombre de cônes endommagés (en pour cent)	Augmentation du nombre de graines pleines par cônes (en pour cent)	Phytotoxicité
	Oxydéméton-méthyl 0,7 g (I.A.)/cm (DHP) 19 g d'I.A. par arbre Mauget® en capsules 22 et 23 mai 1981	20-68	0-100	115-267	-
Chalk River, Ont.	*Implantation* Acéphate 0,5 et 1,0 g (I.A.)/cm (DHP) 8 et 15 g d'I.A. par arbre Acecaps® 1 et 2 juin 1981	-	0-100	0	-
B) Pin blanc					
(i) Hastings et Avery, 1968 Canterbury, NH	*Injection* Dicrotophos 3,4 g (I.A.)/cm (DHP) 133 g d'I.A. par arbre Mauget® en capsules Du 14 au 17 mai 1967	-	73	-	-
3. Traitement du sol					
A) Épinette noire					
(i) Fogal et collab., 1988a Kapuskasing, Ont.	*Incorporation au semoir* Carbofuran en granules	0-80	0	0	Aucun brunissement des aiguilles
	Pulvérisation de surface Carbofuran liquide 5 et 10 g (I.A.)/cm (DHP) 49 et 97 g d'I.A. par arbre 14 mai 1980	48-85	0	0-153	Un certain brunissement des aiguilles à une dose de 10 g (I.A.)/cm (DHP) au cours de la deuxième année
B) Épinette blanche					
(i) Fogal et collab., 1981 Kapuskasing, Ont.	*Épandage à la volée puis ratelage* Carbofuran en granules 10,8 et 21,6 g (I.A.)/cm (DHP) 95 et 190 g d'I.A. par arbre 17 mai 1979	93 et 100	-	-	Aucune, à une dose de 10,8 g (I.A.)/cm (DHP); brunissement des aiguilles et augmentation significative du nombre de bourgeons de cônes semenciers à une dose de 21,6 g (I.A.)/cm (DHP)

Tableau 1. (suite)

Modes d'épandage, espèces traitées, références et endroit géographique	Technique d'épandage, insecticide épandu, taux d'épandage et moment de l'épandage	Réduction de la défoliation (en pour cent)	Réduction du nombre de cônes endommagés (en pour cent)	Augmentation du nombre de graines pleines par cône (en pour cent)	Phytotoxicité
Cerezke et Holmes 1986 Grande Prairie, Alb.	*Labours manuels à la bèche* Carbofuran en granules De 4,5 à 8,9 g (I.A.)/cm (DHP) 22-25 mai et début juin 1979	-	0-100	0	Diminution, atteignant 26 %, du nombre de graines pleines par cône et diminution de 15 % de la germination
C) Pin gris	*Épandage à la volée*				
(i) Rauf et collab., 1982 Oneida Co., WI	Carbofuran en granules 6,8 g (I.A.)/cm (DHP) 14 mai 1982	-	88	–	-
D) Pin blanc	*Épandage à la volée et enfouissement*				
(i) Ehlers et collab., 1978 Forêt d'état Maumee, OH	Carbofuran en granules 8,9 g (I.A.)/cm (DHP) 237 g d'I.A. par arbre Temps de traitement divers à intervalle mensuel, de novembre 1977 à avril 1978	-	67-91	-	-
(ii) DeBarr et collab., 1982 Morgantown, NC	*Épandage à la volée et ratelage* Carbofuran en granules Phorate en granules 65 g d'I.A. par arbre 12 avril 1974	- -	54-76 16-30	- -	- -
	Carbofuran en granules 4,5-13,5 g (I.A.)/cm (DHP) 66-197 g d'I.A. par arbre 5 mars 1975 3 mars 1976	- -	72-97 0	25-125 -	- -
Murphy, NC	*Épandage à la volée et ratelage* Carbofuran en granules 4,5-13,5 g (I.A.)/cm (DHP) 40-120 g d'I.A. par arbre 23 février 1976 22 février 1977	- -	(67-91)[2] (68-77)[2]	(190-173)[3] (55-68)[3]	Légère décoloration de la pointe des aiguilles de l'année en cours
	Semoir motobineuse Carbofuran en granules 4,5 et 9,0 g (I.A.)/cm (DHP) 40-80 g d'I.A. par arbre	-	45-100	(238-286)[3]	-

Tableau 1. (suite)

Modes d'épandage, espèces traitées, références et endroit géographique	Technique d'épandage, insecticide épandu, taux d'épandage et moment de l'épandage	Réduction de la défoliation (en pour cent)	Réduction du nombre de cônes endommagés (en pour cent)	Augmentation du nombre de graines pleines par cône (en pour cent)	Phytotoxicité
E) Pin rouge (i) Rush et collab., 1987 Avoca, WI	*Épandage à la volée* Carbofuran en granules	-	66	3067	Léger jaunissement ou brunissement des aiguilles
	Arrosage Carbofuran liquide 8,9 g (I.A.)/cm (DHP) 138 g d'I.A. par arbre 17 mai 1984	-	88	4400	Jaunissement ou brunissement des aiguilles très notable

[1]Réduction du nombre de larves par cônes (en pour cent).
[2]Réduction du nombre de graines endommagées (en pour cent).
[3]Augmentation du nombre de graines par cône (en pour cent).

mettait une réduction bonne ou excellente des dommages causés aux cônes par les insectes aussi bien pour l'oxydéméton-méthyl (de 59 à 100 %) que pour le diméthoate (de 50 à 100 %).

Le traitement était moins efficace à la dernière date indiquée. Sous forme de brouillard, l'oxydéméton-méthyl diminuait de 13 à 33 % d'infestation des cônes et le diméthoate, de 0 à 5 %; lors des arrosages, la réduction variait de 13 à 57 % avec l'oxydéméton-méthyl et de 0 à 27 % avec le diméthoate. L'oxydéméton-méthyl était donc plus efficace que le diméthoate à ce stade.

Pour les brouillards, les résultats étaient meilleurs avec 5 % qu'avec 2 % d'I.A. Pour les arrosages, la lutte était au moins aussi efficace avec 0,5 % qu'avec 0,1 % ou 1,0 % d'I.A.

Des arbres ayant une hauteur approximative de 4 m furent traités le 11 juin 1968 par pulvérisation d'un brouillard renfermant 5 % de diméthoate (15 g d'I.A. par arbre) ou par arrosage avec une solution renfemant 1 % de diméthoate (12 g d'I.A.) par arbre. Ces traitements entraînèrent une réduction complète des dommages aux cônes.

ii) Le 10 mai 1984, Prévost (1986) se servit d'un pulvérisateur hydraulique à dos pour arroser la moitié supérieure du houppier d'épinettes noires avec une solution de diméthoate à 0,044 % (I.A.). À cette époque, soit environ deux semaines avant que les fleurs ne fussent prêtes à être pollinisées, les bourgeons des cônes étaient gonflés. Les arbres traités mesuraient 12 m en moyenne et ils étaient âgés d'environ 30 ans. Chaque arbre reçut l'insecticide à raison de 3,8 g d'I.A. environ.

Le traitement limitait de façon excellent les dommages causés aux bourgeons et aux cônes (réduction de 68 % du nombre de cônes endommagés) par les larves de lépidoptère, en particulier la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem) et la pyrale des cônes de l'épinette (*Dioryctria reniculelloides* Mutuura et Munro). Toutefois, il n'y avait aucune réduction des dommages dus à l'asticot des cônes de l'épinette (*Lasiomma anthracina* Czerny) et à la cécidomyie de l'axe des cônes de l'épinette, peut-être à cause de la faible concentration d'insecticide utilisée ou à cause d'un arrosage trop hâtif. Le traitement n'entraîna aucune augmentation des proportions de cônelets avortés.

b) Épinette blanche

i) Les 12 et 13 juin 1969, Hedlin (1973) pulvérisa la partie porteuse de cônes des arbres mesurant de 6 à 12 m en se servant d'un appareil hydraulique à dos renfermant du diméthoate, du dicrotophos, de l'oxydéméton-méthyl ou du formothion à raison de 0,5 à 1,0 % d'I.A.; l'épandage durait jusqu'à ce que le point de ruissellement fût atteint. Certains cônelets étaient encore en position verticale, leurs écailles etant ouvertes, mais la plupart étaient fermés et en position horizontale.

Le diméthoate provoquait une mortalité passablement élevée chez la tordeuse des graines de l'épinette (*Cydia strobilella* L.) de même que chez *Lasiomma anthracina* (réduction de 88 à 99 % du nombre de larves par cône). Cette réduction allait de 0 à 98 % avec le formothion et de 0 à 58 % avec l'oxydéméton-méthyl; en revanche, le dicrotophos s'avérait inefficace. Le nombre de graines pleines par cône n'augmentait nullement, mais aucun des insecticides n'avait un effet délétère quelconque sur la germination des graines.

ii) Le 19 juin 1979, Miller et Hutcheson (1982) se servirent d'un hélicoptère muni d'une rampe horizontale pour arroser de diméthoate (0,8 % d'I.A.) la cime des arbres mesurant de 27 à 33 m; chaque arbre reçut environ 98 g d'I.A. Au moment du traitement, les cônelets étaient fermés et en position pendante ou en voie de prendre cette position. L'opération s'est avérée une méthode excellente de lutte contre l'asticot des cônes (élimination complète des larves dans les cônes); de plus, le rendement en graines augmentait de 43 %. L'utilisation d'une rampe en forme de A pour diriger l'arrosage sur la cime des arbres a permis de réduire à 18 g d'I.A. par arbre la quantité d'insecticide nécessaire à la lutte contre les ravageurs (réduction de 87 % du nombre de larves par cône).

L'épandage, le 21 juin 1979, de diméthoate à 2 % à la volée à un taux de 83,46 L/ha (1,67 kg/ha) entraînait aussi une mortalité élevée chez l'asticot des cônes (réduction de 68 % du nombre de larves par cône), en outre, le nombre de graines pleines par cône augmentait de façon significative (22 %).

iii) Fogal et Lopushanski (1985) pulvérisèrent au moyen d'appareils à pression de liquide des solutions de diméthoate, de méthomyl et d'acéphate renfermant 1,0 et 1,5 % d'I.A. sur des plantations d'épinettes blanches âgées de 12 ans et de 25 ans. Les arbres âgés de 12 ans reçurent 1,3 et 1,9 g (I.A.)/cm (DHP) - 6 et 9 g d'I.A. par arbre - et ceux âgés de 25 ans, 1,6 et 2,5 g (I.A.)/cm (DHP) - 20 et 31 g d'I.A. par arbre. La portion porteuse de cônes des arbres, qui mesuraient de 4 à 7 m, fut arrosée jusqu'au point d'égouttement au moyen d'un pulvérisateur à dos le 1er juin 1979 dans la plantation âgée de 12 ans et le 5 juin de la même année dans la plantation âgée de 25 ans, soit environ trois semaines après la pointe de la floraison.

Les épandages d'insecticide eurent pour effet de réduire les dommages aux cônes, sans toutefois qu'aucune différence ne pût être décelée entre les deux taux utilisés. Dans la plantation la pous jeune, les deux insecticides réduisaient de façon très significative l'ampleur des dommages dus à la larve de la pyrale des cônes de l'épinette (réduction de 80 à 95 %), l'asticot des

cônes de l'épinette (de 67 à 80 %) et la cécidomyie de l'axe des cônes de l'épinette (de 64 à 100 %); toutefois, aucun des deux ne réduisait les dommages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Les divers insecticides testés se sont montrés d'une efficacité peu différente. Dans la plantation la plus ancienne, chacun des insecticides entraînait une réduction significative des dommages dus à l'asticot des cônes (de 45 à 72 %) sans aucune différence statistiquement significative de l'un à l'autre. Le diméthoate et le méthomyl, mais non pas l'acéphate, réduisaient les dommages causés par la tordeuse des graines de l'épinette et la cécidomyie de l'axe des cônes de l'épinette. Aucun des insecticides ne réduisait les dommages dus à la larve de la pyrale des cônes de l'épinette. Les traitements semblaient moins efficaces dans la plantation la plus ancienne.

Le brunissement des aiguilles observé lors de l'utilisation de concentrations plus élevées a indiqué une certaine phytotoxicité.

2. Traitement du tronc

On a procédé à l'implantation d'une formulation solide d'insecticide sous forme d'Acecap® ainsi qu'à l'injection d'une formulation liquide au moyen d'injecteurs Mauget® sur des épinettes noires, des épinettes blanches et des pins blancs.

a) Épinette noire

i) Les 3 et 4 juin 1986, peu de temps après la pollinisation, West (1987) implanta dans des arbres mesurant environ 5 m des capsules d'Acecap® renfermant de l'acéphate solide à un taux de 0,3 g (I.A.)/cm (DHP) - 2,6 g d'I.A. par arbre.

Les traitements entraînèrent une réduction de 72 % des dommages causés aux cônes par les insectes qui s'en nourrissent par l'extérieur (entre autres, la larve de la pyrale des cônes ainsi que la tordeuse des bourgeons) et une réduction de 100 % des dommages dus aux insectes qui s'en nourrissent par l'intérieur (par exemple, l'asticot des cônes et la cécidomyie de l'axe des cônes). Le rendement en graines extractibles augmentait de 129 % sans aucune réduction apparente de leur pouvoir germinatif.

b) Épinette blanche

i) Les 22 et 23 mai 1981, quatre jours après la pointe de pollinisation, Fogal et Lopushanski (1989), se servant d'injecteurs Mauget®, injectèrent dans des arbres mesurant à peu près 18 m une formulation liquide de dicrotophos à raison de 1,1 g (I.A.)/cm (DHP) - 28 g d'I.A. par arbre - ainsi qu'une formulation liquide d'oxydéméton-méthyl à raison de 0,7 g (I.A.)/cm (DHP) - 19 g d'I.A. par arbre.

Pendant les deux saisons qui suivirent l'injection, la défoliation causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette diminuait aux niveaux supérieur, moyen et inférieur du houppier. Il semblerait donc que l'insecticide fût persistant et d'une efficacite égale à tous les niveaux du houppier; par conséquent, les cônes femelles du niveau supérieur et les cônes mâles du niveau inférieur devraient être protégés. Le dicrotophos s'est avéré plus efficace que l'oxydéméton-méthyl.

Durant l'année où le traitement eut lieu, les injections réduisirent de 94 à 100 % les proportions de cônes endommagés par les insectes qui se nourrissent exclusivement de ceux-ci et commencent à s'alimenter après la pollinisation (tordeuse des graines, asticot des cônes, cécidomyie de l'axe des cônes de l'épinette ainsi que par les insectes qui vivent dans les graines comme la cécidomyie granivore de l'épinette (*Mayetiola carpophage* Tripp) ou le chalsis granivore de l'épinette (*Megastigmus atedius* Walker). Les dommages causés par les insectes qui commencent à se nourrir de cônes et d'aiguilles avant ou pendant la pollinisation (tordeuse des bourgeons et pyrale des cônes de l'épinette) n'étaient pas réduits. Le nombre de graines par cône augmentait de 558 % après l'injection de dicrotophos et de 267 % après l'injection d'oxydéméton-méthyl.

Durant la saison qui suivit l'injection, les proportions de cônes endommagés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette diminuaient de 100 % dans le cas du dicrotophos et de 89 % dans celui de l'oxydéméton-méthyl. Les dommages dus aux insectes vivant dans les graines étaient réduits de 89 % par le dicrotophos, mais l'oxydéméton-méthyl s'avérait inefficace à cet effet; aucun des deux insecticides ne réduisait les dommages dus à d'autres insectes. Néanmoins, le nombre de graines augmentait respectivement de 90 et de 115 % après l'injection de dicrotophos et d'oxydéméton-méthyl.

Les traitements n'entraînèrent aucun symptôme visible de phytotoxicité en comparaison des arbres non traités et les blessures causées par les injections guérirent bien (Bowen, 1987).

ii) Le 1er et le 2 juin 1981, soit à peu près deux semaines après la pointe de floraison et de pollinisation, Fogal et Lopushanski (1989) implantèrent une formulation solide d'acéphate sous forme de capsules d'Acecap® dans des arbres mesurant 9,4 m afin de limiter les dommages causés aux cônes et aux graines; les doses administrées étaient de 0,5 et 1,0 g (I.A.)/cm (DHP) - 8 et 15 g d'I.A. par arbre.

Pendant l'année où le traitement eut lieu, le plupart des cônes des arbres traités à une dose de 0,5 g (I.A.)/cm (DHP) furent cueillis par des écureuils roux (*Tamiasciurus hudsonicus*); aucun évaluation n'a donc pu être faite des effets du traitement, ni sur les dommages causés par les insectes, ni sur le rendement en graines. Dans les arbres traités à une dose de 1,0 g (I.A.)/cm (DHP), les écureuils cueillirent moins de cônes et les

dommages causés par la tordeuse des graines de l'épinette aux cônes demeurant sur les arbres furent réduits de 100 % par rapport à ceux observés sur les arbres non traités. Les dommages dus aux autres insectes ne furent pas réduits par le traitement, et aucune augmentation de rendement ne fut observée lors du dénombrement des graines.

Au cours de la saison qui suivit l'implantation, les écureuils ne posèrent aucun problème notable, peut-être parce que, la récolte de cônes étant beaucoup plus importante, ils avaient des réserves alimentaires plus abondantes à leur disposition. Les traitements entraînèrent une réduction excellente des dommages faits aux cônes par les insectes : larve de la pyrale des cônes de l'épinette, 100 % aux deux taux utilisés; tordeuse des graines de l'épinette, respectivement 70 et 50 % aux taux de 0,5 et de 1,0 g (I.A.)/cm; asticot des cônes de l'épinette, 65 et 91 %; finalement, insectes vivant dans les graines, 95 % aux deux taux. Malgré la limitation des insectes, la quantité de graines dénombrées par cône n'a pas augmenté.

c) Pin blanc

i) Du 4 au 17 mai 1967, Hastings et Avery (1968) injectèrent du dicrotophos dans des pins blancs mesurant 17 m à raison de 3,4 g (I.A.)/cm (DHP) - 133 g d'I.A. par arbre. Les traitements entraînèrent une réduction de 73 % des dommages faits par le scolyte des cônes du pin blanc (*Conophthorus coniperda* Schwarz). Les rendements en graines ne furent pas déterminés.

3. Traitement du sol

Des formulations en granules furent incorporées dans le sol ou la litière afin d'empêcher que les oiseaux ne les mangent. Il existe deux modes d'incorporation des insecticides solides : ils sont d'abord épandus à la volée, puis enfouis dans le sol par ratelage ou recouverts de litières ou de copeaux de bois; ils peuvent aussi être enfouis dans des sillons soit au semoir-motobineuse, soit encore à la charrue à disques. On procéda aussi à l'incorporation de formulations liquides dans le sol par arrosage manuel ou pulvérisation au moyen d'un appareil motorisé.

a) Épinette noire

i) Le 14 mai 1980, bien avant l'époque de la pollinisation, Fogal et ses collaborateurs (1988a et b) traitèrent des arbres âgés de 29 ans et mesurant en moyenne 9,7 cm (DHP) avec une formulation granulaire ou liquide de carbofuran à raison de 5 ou de 10 g (I.A.)/cm (DHP) - 49 ou 97 g d'I.A. par arbre. Les granules étaient incorporées dans le sol au moyen d'un semoir, alors que le liquide était pulvérisé à la surface de celui-ci.

Les traitements au carbofuran liquide prévinrent efficacement la défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette l'année même du traitement, et leur action persistait l'année suivante. Sous forme de granules, le carbofuran ne fut pas efficace l'année du traitement, peut-être à cause des faibles pluies tombées après son incorporation dans le sol, mais il le fut l'année suivante. L'efficacité du traitement se faisait sentir aux niveaux supérieur, moyen et inférieur du houppier. En revanche, aucun effet ne fut décelé sur le rendement en cônes, ni sur les dommages faits aux cônes par les insectes au cours des deux années où les évaluations eurent lieu. Toutefois, l'épandage d'une formulation liquide à raison de 5 g (I.A.)/cm (DHP) entraîna une augmentation de 153 % des graines dénombrées pendant l'année qui suivit le traitement. Au cours de la deuxième année où des évaluations eurent lieu, la formulation liquide s'avéra phytotoxique à la dose de 10 g (I.A.)/cm (DHP), mais non pas à la dose de 5 g (I.A.)/cm (DHP); aucune phytotoxicité ne fut observée ni à l'une ni à l'autre des doses dans le cas de la formulation en granules.

Ces essais furent réalisés dans des conditions qui étaient bien moins qu'optimales pour l'évaluation des effets sur la production de cônes et le rendement en graines, car les récoltes de cônes furent très faibles lors des deux années où l'étude eut lieu.

b) Épinette blanche

i) Fogal et ses collaborateurs (1981) traitèrent des arbres âgés de 17 ans et mesurant en moyenne 8,8 cm (DHP) en épandant du carbofuran granulaire à la volée et en ratelant les granules dans la litière et les couches supérieures du sol. L'épandage eut lieu le 17 mai, bien avant la pollinisation; les doses d'insecticide utilisées étaient de 10,8 et de 21,6 g (I.A.)/cm (DHP) - 95 et 190 g d'I.A. par arbre. Peu après le traitement, des pluies abondantes sont tombées.

Les deux doses indiquées fournirent une excellente protection des aiguilles contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Au taux le plus élevé, le brunissement des aiguilles dénonçait une certaine phytotoxicité, mais aucun symptôme analogue n'était décelé au taux le plus bas. Sur les arbres ayant reçu la dose la plus élevée, la production de bourgeons de cônes femelles augmentait de façon significative. On ne sait cependant pas si cette augmentation de production était liée à la protection contre la tordeuse des bourgeons d'épinette ou à un effet stimulant sur la floraison.

ii) Cerezke et Holmes (1986) disposèrent des granules de carbofuran dans de petits sillons creusés dans le sol minéral; ils les recouvrirent ensuite de litière. Les taux d'épandage variaient de 4,5 à 8,9 g (I.A.)/cm (DHP) selon l'arbre dont la hauteur allait de 20 à 25 m. À un endroit, le traitement fut réalisé lorsque les bourgeons terminaux commençaient à se gonfler, soit du 22 au 25 mai 1979; à un autre endroit, il eut lieu durant la première semaine de juin, au moment où les cônelets commençaient tout juste à se dresser à la verticale.

Huit espèces d'insectes se sont montrées inféodés aux cônes, et les traitements réduisent leurs dégâts dans des proportions de 0 à 100 %.

Des réductions importantes furent observées dans le cas de l'asticot des cônes de l'épinette, de la cécidomyie de l'axe des cônes de l'épinette et de la cécidomyie galligène des cônes de l'épinette (*Dasineura canadensis* Felt). Les réductions observées pour l'ensemble des insectes et des traitements étaient de 55 % à l'endroit traité en juin et de 18 % à l'endroit traité en mai.

Les traitements n'entraînèrent aucune augmentation du nombre de graines pleines par cône. D'après les rapports, la récolte de cônes fut très grande, le taux d'infestation par les insectes très bas et l'ensemble des pertes de graines dues aux insectes très faible (de 1 à 6 %).

Il semblerait que les traitements aient eu une certaine toxicité vu la réduction de la longueur des cônes, la baisse du rendement en graines et une moins bonne germination de celles-ci.

c) Pin gris

i) Rauf et ses collaborateurs (1982) traitèrent des pins gris âgés de neuf ans avec des granules de carbofuran afin de lutter contre l'avortement des cônelets dû à la punaise des cônelets de pins (*Platylgus luridus* Reuter). Pour ce faire, des granules furent épandues à la volée à la surface du sol le 14 mai 1982 à raison de 6,8 g (I.A.)/cm (DHP).

Au cours des mois de juillet, d'août et de septembre, des adultes de cette espèce de punaise furent observés uniquement sur des arbres non traités. Au début d'octobre, les traitements avaient permis une réduction de 88 % des avortements de cônelets.

d) Pin blanc

i) Ehlers et ses collaborateurs (1978) épandirent à la volée des granules d'insecticide dans des parcelles délimitées par la ligne d'égouttement d'arbres mesurant en moyenne 26,7 cm (DHP). Le sol minéral de ces parcelles fut exposé par élimination de la litière avant les traitements. Toutefois, la litière ainsi que les écorces de pin y furent remis sur les parcelles une fois les traitements terminés afin de prévenir les risques pour la faune. L'insecticide fut épandu à un taux de 8,9 g (I.A.)/cm (DHP) - 237 g d'I.A. par arbre. Les traitements eurent lieu, à l'intervalle d'un mois, de novembre à avril; les arbres traités furent comparés à des arbres témoins.

Les dégâts dus au scolyte des cônes du pin blanc furent réduits de 67 à 91 %. Les résultats étaient meilleurs lorsque les traitements avaient lieu en novembre, en décembre et en janvier plutôt qu'en mars et en avril.

ii) DeBarr et ses collaborateurs (1982) comparèrent l'effet de l'épandage à la volée, le 12 avril 1974, de granules de carbofuran et de phorate dans une aire délimitée par la ligne d'égouttement du houppier de chaque arbre à raison de 4,5 g (I.A.)/cm (DHP) - 65 g d'I.A. par arbre. La pelouse fut coupée avant le traitement, et le rateau fut passé pour incorporer les granules dans l'herbe et ainsi minimaliser les dangers pour les oiseaux et les petits mammifères.

D'après l'évaluation des dommages faits par le scolyte des cônes du pin lors des deux années qui suivirent le traitement, le carbofuran les réduisait de 75 % en 1974 et de 54 % en 1975; quant au phorate, son efficacité était moindre, les réductions respectives pour ces deux années étant 30 et 16 %.

Des essais plus poussés furent réalisés avec le carbofuran à des doses variant de 4,5 à 13,5 g (I.A.)/cm (DHP) - de 66 à 190 g d'I.A. par arbre. Les dommages dus au scolyte des cônes de pin étaient réduits (73 voir 97 %); par contre, les ravages faits par la punaise séminivore du pin blanc (*Tetyra bipunctata* Herrich-Schäffer) demeuraient aussi fréquents. Seule la dose la plus élevée faisait augmenter les graines dénombrées par cône. À la suite de la répétition du traitement sur le mêmes parcelles en 1976 et en 1977, le nombre de graines pleines sugmentait de façon significative. Selon le traitement subi, l'augmentation du nombre de graines par cône par rapport aux témoins variait de 109 à 173 en 1976 et de 55 à 68 en 1977. En outre, le nombre de graines endommagées par la punaise séminivore du pin blanc diminuait de façon significative : de 69 à 91 % en 1976 et de 68 à 77 % en 1977. Il vaut la peine de noter que la faible augmentation du nombre de graines pleines par cône en 1977 survenait en même temps qu'une grande récolte de cônes, qui était deux fois supérieure à celle de 1976.

Il fut noté une certaine décoloration des aiguilles de l'année en cours, qui semblait d'origine clonale. Les symptômes de phytotoxicité et les effets possibles sur la germination ne furent pas évalués en détail.

Des traitements opérationnels furent réalisés en 1978 par incorporation de granules de carbofuran au moyen d'un semoir-motobineuse de marque John Deere. Les essais, qui portèrent sur des doses de 4,5 et 9,0 g (I.A.)/cm (DHP) entraînèrent des augmentations respectives de 238 et de 286 du nombre de graines pleines par cône. On a signalé des réductions importantes des dégâts causés par le perce-cône du pin blanc (*Eucosma tocullionana* Heinrich) et le scolyte des cônes du pin. Les arbres protégés produisaient des cônelets et des cônes en bien meilleure santé.

e) Pin rouge

i) Dans de grandes parcelles renfermant à peu près 25 conifères producteurs, Rush et ses collaborateurs (1987) ont comparé les effets de formulations liquides et de formulations granulaires de carbofuran. L'épandage se fit à la main, au moyen d'un distributeur vibrant dans le cas des granules et d'un arrosoir dans celui du liquide, à un taux de 8,9 g (I.A.)/cm (DHP) - 138 g d'I.A. par arbre.

La formulation liquide entraîna une réduction de 88 % du nombre des cônes endommagés par les insectes; les granules, une réduction de 66 %. Les traitements limitaient les espèces suivantes : la tordeuse séminivore des pins (*Cydia toreuta* Grote), le perce-cône du pin rouge (*Eucosma monitorana* Heinrich), la pyrale rousse des cônes du pin (*Dioryctria disclusa* Heinrich) ainsi qu'une cécidomyie résinocole (*Asynapta hopkinsi* Felt).

Les granules entraînaient une augmentation du nombre des graines pleines par cône par un facteur de 31 et les formulations liquides, par un facteur de 44; toutefois, on notait un certain jaunisement et brunissement des aiguilles, en particulier chez les arbres traités avec la formulation liquide.

Efficacité des insecticides

Il y a peu de doute sur l'importance du rôle des insectes dans la disparition de graines (Dinus et Yates, 1975), pas plus que sur l'action des insecticides systémiques dans la limitation des insectes et la réduction des dommages faits aux cônes. Néanmoins, les traitements n'entraînent pas toujours une augmentation du rendement en graines ni une limitation des insectes. En effet, l'efficacité de la lutte contre les insectes dépend du moment du traitement, des habitudes alimentaires des insectes et de l'absorption, de la translocation et de la métabolisation de l'insecticide. En outre, d'autres facteurs influent sur le pouvoir des traitements insecticides d'améliorer le rendement en graines, entre autres : la disparition de graines et de cônes ayant une autre origine que les insectes ainsi que l'importance de la récolte de cônes.

1. Synchronisation des traitements avec les habitudes alimentaires des insectes

La synchronisation des traitements insecticides pour lutter contre les insectes ravageurs des cônes et des graines varie selon l'insecte visé, l'espèce d'arbre à protéger et le mode d'épandage utilisé.

La pulvérisation d'insecticides systémiques sur le houppier des épinettes se fait habituellement une fois la pollinisation terminée, immédiatement avant que les cônes femelles ne deviennent en position pendante. Ces traitements sont efficaces contre les insectes qui pondent leurs oeufs à l'aide d'un ovipositeur et qui commencent à s'alimenter après la pollinisation (Fogal et Lopushanski, 1985; Haig et McPhee, 1969; Hedlin, 1973, Miller et Hutcheson, 1982). Toutefois, ces traitements n'assurent pas une protection complète contre les insectes qui commencent à s'alimenter avant la pollinisation telles les larves des pyrales et la tordeuse des bourgeons d'épinette (Fogal et Lopushanski, 1985). Pour prévenir les ravages dus à ces espèces, il semble que les traitements doivent se faire avant la floraison et la pollinisation (Prévost, 1986). La pulvérisation du houppier ne devrait pas cependant coïncider avec la floraison, de peur qu'elle ne nuise à la pollinisation et à la fertilisation des cônes (Annila, 1973).

Chez l'épinette blanche, l'injection de dicrotophos et d'oxydéméton-méthyl après la pollinisation empêche les ravages faits par les insectes se nourrissant exclusivement à l'intérieur des cônes, sans toutefois protéger ceux-ci des dommages dus aux insectes qui mangent les fleurs avant leur pollinisation. Au cours de l'année suivant les traitements, la toxicité résiduelle des insecticides prévenait les dommages dus à cette deuxième sorte d'insecte. L'implantation de cristaux d'acéphate n'avait aucune efficacité contre ces deux types d'insectes l'année même du traitement, mais entraînait une réduction de leurs méfaits au cours de l'anée suivante (Fogal et Lopushanski, 1987). Par conséquent, chez l'épinette blanche, il faudrait procéder le plus tôt possible à la plupart des injections et des implantations. Pour que l'action insecticide ait lieu au cours de la même saison, il se pourrait bien qu'il faille procéder au début du printemps, avant la floraison. En revanche, chez l'épinette noire, les traitements peuvent se faire, selon toute apparence, après la pollinisation, car des implants de cristaux d'acéphate se sont avérés efficaces contre les dommages causés aux cônes par des insectes s'alimentant aussi bien avant qu'après la pollinisation (West, 1986). L'injection de dicrotophos dans des pins blancs avant la floraison a permis une limitation excellente du scolyte inféodé aux cônes de cet arbre (Hastings et Avery, 1968).

Lors des essais portant sur des insecticides incorporés dans le sol, on s'est servi presque exclusivement de carbofuran, sauf dans un cas où du phorate fut utilisé pour protéger des pins blancs. L'insecticide est habituellement épandu au début ou au milieu du printemps, et les résultats peuvent être spectaculaires (Rush et collab., 1987). Il se peut cependant que ce ne soit pas là le moment optimal : par exemple, la lutte contre le scolyte des cônes du pin blanc est plus efficace lorsque l'épandage de carbofuran se fait en automne (Ehlers et collab., 1978).

2. Absorption, translocation et métabolisation des insecticides

Le mode d'épandage suivi et la formulation utilisée influent sur l'efficacité de l'insecticide. Par exemple, dans le pin blanc, le dicrotophos s'est montré inefficace lorsque pulvérisé au moyen d'un appareil à pression de liquide (Hedlin, 1973) alors qu'il était très efficace par injection (Fogal et Lopushanski, 1989). L'absorption du carbofuran par les arbres est apparemment plus rapide sous forme liquide que granulaire, ce qui rend donc la formulation liquide plus efficace l'année même du traitement (Fogal et collab., 1988 a; Rush et Overton, 1987). Une chute de pluie survenant au moment opportun peut cependant augmenter l'efficacité immédiate des formulations granulaires (Fogal et collab., 1981).

Les insecticides systémiques ont habituellement une activité résiduelle dans les arbres pendant plus d'un an (Norris et Coppel, 1961; Al-Azawa et Norris, 1959; Pree et Saunders, 1973 et 1974). Cette persistence et cette activité résiduelle à long terme semblent indiquer que la métabolisation des insecticides serait relativement lente dans les arbres. Le moment des traitements peut donc varier considérablement, car ces insecticides peuvent être épandus en prévision d'une infestation ou des périodes où les larves s'alimentent, tout en conservant suffisamment d'activité pour protéger la récolte.

Fogal et Lopushanski (1985) se sont aperçus que la lutte contre les insectes par épandage d'insecticide sur les feuilles était moins efficace dans une plantation âgée de 25 ans que dans une autre, âgée de 12 ans, même si les arbres les plus vieux reçoivent davantage d'insecticide tant par unité diamétrale du tronc que de façon absolue. Un facteur évident pouvant expliquer cette différence est la quantité d'insecticide absorbée par l'arbre en fonction de sa taille. En supposant qu'il y ait une translocation des insecticides dans tout l'arbre à partir de la partie supérieure du houppier où ils sont épandus, il est possible de prévoir un effet de dilution à mesure que le diamètre de l'arbre augmente; en effet, la biomasse de l'épinette blanche augmente de façon exponentielle par rapport au diamètre de l'arbre (Alemdag, 1982). Un tel effet de dilution pourrait expliquer la baisse d'efficacité des insecticides chez les arbres les plus âgés. Toutefois, il faudrait aussi envisager la possibilité qu'il s'agisse de modifications biochimiques de la métabolisation ou de la translocation des toxiques dans l'arbre qui seraient liées au vieillissement.

3. Pertes de graines ayant d'autres origines

Les graines pleines se développent à la suite de la fertilisation d'une zone centrale des cônes (Tripp et Hedlin, 1956). Une certaine proportion des cônes d'épinette peut être perdue par avortement : 7 % au stade de l'ovule non fertilisé et de 13 à 25 % environ au stade préembryonnaire (Sarvas, 1968; Owens et Molder, 1979; Owens et Blake, 1985). L'avortement au stade embryonnaire est fréquent (Mergen et collab., 1965), pouvant même atteindre de 50 à 75 % des graines en puissance (Owens et Molder, 1979). Dans la région fertile des cônes de pin, on observe l'avortement de 50 à 60 % des ovules (Lyons, 1956; Owens et Blake, 1985). Les causes les plus importantes de l'avortement des graines sont l'absence de pollen, l'autopollinisation, les gènes sublétaux ou défectifs, les conditions climatiques extrêmes, la compétition pour les éléments nutritifs et des facteurs internes règlant le développement.

Les pertes de graines qui ne sont pas dues aux insectes influent sur l'efficacité des traitements insecticides. Lorsqu'une forte proportion des graines potentielles disparait ainsi, les traitements insecticides n'entraînent pas l'augmentation de rendement attendue. Par conséquent, les expériences visant à démontrer l'efficacité des insecticides par la réduction des pertes dues aux insectes doivent donc tenir compte de ces autres pertes pourque les essais soient valables. Idéalement, il faudrait aussi limiter les pertes ayant une autre origine. Enfin, il se peut que l'incorporation toutefois, comme cette possibilité n'est mentionnée dans toute la littérature que dans un article sur l'épandage de carbofuran sur l'épinette noire (Cerezke et Holmes, 1986), il faudra qu'elle soit étudiée avec soin.

4. Pertes de cônes

Tout comme les graines, les cônes peuvent aussi avorter ou disparaître avant que les graines ne soient arrivées à maturation complète. Il arrive que les cônes tombent prématurément, mais la cause de ces phénomènes est peu connue, qu'ils surviennent au début ou à la fin du développement des cônes. Par contre, on sait que la chute des cônes de pin est due à une pollinisation inadéquate (Dickman et Kozlowski, 1973; Sweet, 1973). Parmi les autres facteurs considérés comme responsables, citons les basses températures, l'humidité, le manque d'aliments et la compétition entre les structures végétatives et reproductives (Owens et Blake, 1985). Il est possible que la chute prématurée des cônes soit aussi due aux habitudes alimentaires des insectes (Fogal, 1988). Lorsqu'elle est importante, il se peut que la chute des cônes endommagés par les insectes entraîne dans les cônes restants une augmentation apparente de rendement en graines. Les différences de rendement entre les cônes des arbres non traités et ceux des arbres traités diminueraient donc ou deviendraient non décelables.

Les écureuils roux cueillent un grand nombre de cônes d'épinette (Heinselman, 1957) et de pin (Hurley et collab., 1987). Cecich et Rudolph (1982) eurent des difficultés à cueillir des cônes de pin gris une fois que les écureuils ont commencé la récolte. D'après Fogal et Lopushanski (1984), cette difficulté s'applique aussi à l'épinette blanche; en effet, les écureuils se sont avérés une vraie nuisance au cours des expériences conçues pour vérifier l'efficacité des insecticides systémiques par injection dans le tronc, car ils ne laissèrent pas suffisam-

ment de cônes à cueillir dans tous les arbres faisant l'objet de l'expérience. Au cours d'une étude sur l'épinette noire, Prévost (1986) a constaté que les écureuils roux étaient les deuxième plus grands responsables de la disparition de cônes et de graines, immédiatement après les lépidoptères.

Il est notoire que les écureuils évitent les cônes visibilement attaqués par les insectes (Smith, 1981) et qu'ils se nourrissent dans les arbres où une forte proportion des cônes n'est pas ravagée. Au cours des essais, ils semblaient cueillir de préférence les cônes des épinettes blanches traitées qui ne renfermaient aucun insecte (Fogal et Lopushanski, 1984). Cette sélection lors de la récolte influerait sur les résultats des essais en réduisant les différences entre le rendement en graines des arbres traités et des arbres non traités.

5. Importance de la récolte

Le rendement en graines et les proportions des cônes endommagés varient en fonction de l'importance de la récolte. Dans le cas des épinettes, les dégâts dus aux insectes sont habituellement élevés et le rendement en graines est faible lorsque la récolte est mauvaise; l'inverse se produit quand elle est bonne (Werner, 1964). Il existe une corrélation analogue entre l'importance de la récolte et les dommages causés par les insectes les pins (Lester, 1963; Mattson, 1971; Shea et collab., 1984). Se peut-il que l'importance de la récolte influe sur l'efficacité du traitement insecticide? Pour répondre à cette question, il faut prendre en considération trois types de récolte : bonne, moyenne et faible.

Lorsque la récolte est bonne, il est probable que seulement une faible proportion des cônes soit attaquée et que le nombre de cônes fertiles soit élevé. Dans ces conditions, il peut être difficile de déceler les effets du traitement sur la proportion des cônes endommagés; de plus, l'augmentation du rendement en graines dans les arbres traités peut être très faible. Voilà peut-être la raison des résultats peu probants signalés par Cerezke et Holmes (1986) lors du traitement des épinettes blanches au carbofuran; en effet, cette année-là, la récolte était très bonne et les pertes de graines dues aux insectes, très faibles, d'où une augmentation du rendement en graines à peu près nulle dans les arbres traités.

Lorsque la récolte est moyenne, les dégâts causés par les insectes peuvent être moyens ou prononcés et une pollinisation adéquate peut assurer une bonne fertilisation des graines. C'est dans ces conditions qu'il est le plus probable que le traitement entraîne une augmentation décelable du rendement en graines. Fogal et Lopushanski (1987) ont signalé une augmentation importante du rendement en graines dans les cônes d'épinettes blanches ayant récu des injections de dicrotophos et d'oxydéméton-méthyl alors que la récolte était moyenne.

Lorsque la récolte est mauvaise, il est probable qu'un fort pourcentage de cônes soit attaqué par les insectes. Les proportions des graines fertiles devraient cependant être faibles à cause d'une mauvaise pollinisation et d'une autopollinisation; les traitements devraient alors assurer un haut niveau de protection contre les insectes, mais le rendement en graines ne devrait pas augmenter, sinon faiblement. Fogal et ses collaborateurs (1987) ont signalé ce genre de résultat négatif lors de l'essai du carbofuran sur des épinettes noires au cours des années où la récolte de cônes était très mauvaise.

Il semble donc que l'importance de la récolte de cônes soit un facteur à envisager au moment de l'évaluation des résultats des essais faits sur les insecticides; en effet, il est probable qu'elle ait de l'influence sur l'ampleur de la différence de rendement en graines entre les arbres traités et non traités. À des fins opérationnelles, Shea et ses collaborateurs (1984) ont émis l'opinion que la quantité de cônes produits, l'importance de la population d'insectes ainsi que la demande en graines ont toutes un rôle important quand vient le temps de décider de la nécessité d'épandre un insecticide.

Sommaire et conclusions

Malgré la capacité destructrice notoire des insectes qui s'alimentent de cônes et de graines d'épinette et de pin, et la grande valeur de ces graines, il n'existe actuellement que deux insecticides systémiques homologués pour usage dans ces conditions : au Canada, le diméthoate a été homologué pour pulvérisation sur le houppier des épinettes (Fogal et Lopushanski, 1985); aux É.-U., le carbofuran en granules a été homologué pour utilisation sous forme d'additifs du sol sur les pins nordiques (Rush et Overton, 1988). Il semble que plusieurs autres insecticides systémiques soient d'excellents substituts. Toutefois, il faudra d'autres travaux avant de réussir à les faire homologuer pour usage à des fins commerciales dans le traitement des épinettes et des pins semenciers.

Les houppiers d'arbres porteurs de cônes, des épinettes noires et blanches (mais non pas des pins), furent traité par pulvérisation au moyen d'appareils à pression de liquide ou de nébulisateurs, à partir du sol en se servant de perches télescopiques, d'échelles ou de girafes hydrauliques, de façon à diriger le jet vers leur sommet; on s'est aussi servi des hélicoptères pour des épandages aériens. Plusieurs insecticides ont fait l'objet d'essais de pulvérisation, entre autres : l'acéphate, le dicrotophos, le diméthoate, le formothion, le méthomyl et l'oxydéméton-méthyl. La concentration d'ingrédient actif variait de 0,044 % à 2 % par pulvérisation et de 2 % à 5 % par nébulisation. Les concentrations optimales n'ont pas encore été déteminées. Toutefois, pour le pulvérisation du houppier jusqu'au point d'égouttement, une concentration allant de 0,1 à 1,0 %

semble fournir une bonne protection; lorsque la concentration dépasse 1,0 %, des signes de phytotoxicité deviennent visibles sur les aiguilles.

L'implantation de formulations solides et l'injection de formulations liquides ont été réalisées sur l'épinette noire, l'épinette blanche et le pin blanc. Le principal produit utilisé sous forme d'implant fut l'acéphate, alors que l'oxydéméton-méthyl servait à l'injection des épinettes et des pins. Les doses fournies variaient de 0,3 à 3,4 g (I.A.)/cm (DHP). Toutes les doses permettaient une bonne protection, sans qu'aucune phytotoxicité importante (caractérisée par le brunissement des aiguilles) ne fût signalée.

Des insecticides furent incorporés dans le sol au cours des essais réalisés sur l'épinette noire, l'épinette blanche, le pin blanc et le pin rouge. Des formulations granulaires étaient alors épandues sur le sol à la volée, puis incorporees au rateau dans la litière ou bien recouvertes de litières ou de copeaux afin d'empêcher le plus possible les oiseaux de les manger. Les granules furent épandues par arrosage manuel ou pulvérisation au moyen d'un appareil motorisé. Les essais d'épandage d'un insecticide sur le sol se sont faits exclusivement avec le carbofuran à l'exception d'un essais à petite échelle avec le phorate. Les doses épandues variaient de 4,5 à 21,6 g (I.A.)/cm (DHP). Les traitements au carbofuran se sont avérés efficaces pour lutter contre les insectes ravageurs des cônes et des graines de pin et d'épinette, mais des symptômes de phytotoxicité furent signalés à forte dose. Les formulations liquides semblent absorbées plus rapidement que les formulations granulaires; en outre, elles sont plus efficaces. Toutefois, pour la même dose, elles entraînent des symptômes de toxicité plus graves. En revanche, la dose efficace minimum pourrait être moins élevée avec une formulation liquide.

Le moment du traitement, qui varie selon l'insecte cible et le mode d'épandage, est un facteur critique sur l'efficacité de l'insecticide. D'autres facteurs ont aussi un rôle : les pertes de graines et de cônes qui ne sont pas dues aux insectes; l'importance de la récolte de cônes, etc. À l'avenir, ces facteurs devront être considérés au moment des essais; il faudra insister davantage sur l'évaluation du rendement en graines et sur les effets nocifs possibles des insecticides sur le développement des cônes et des graines ainsi que sur la germination des graines; de plus, toute manifestation de phytotoxicité des traitements devra être étudiée, qu'elle apparaisse à l'endroit où le produit a été administré ou qu'elle touche la croissance et le développement global des plantes. Ces précautions visent à réduire au minimum les effets nocifs du traitement sur des arbres semenciers de grande valeur, tant à court terme qu'à long term; elles tendent aussi à s'assurer que les effets délétères des traitements sont plus que compensés par l'accroissement de productivité en semences.

Remerciements

Nous remercions R.J. West, P. deGroot, P.D. Syme et G.E. Miller des commentaires utiles qu'ils ont faits sur le manuscrit du présent texte.

Bibliographie

Al-Azawi, A.F.; Norris, D.M. 1959. Experimental prevention of bark beetle transmission of *Ceratosystis ulmi* (Buis.) Moreau with the systemic insecticide Chipman R-6199. J. Econ. Entomol. 52:902-904.

Alemdag, I.S. 1982. Aboveground dry matter of jack pine, black spruce, white spruce, and balsam fir trees at two localities in Ontario. For. Chron. 58:26-30.

Annila, E. 1973. Chemical control of spruce cone insects in seed orchards. Commun. Inst For. Fenn. 78:8.

Bégin, J.; Crooks, G. 1984 Verger à graines de Harrington, Plan d'aménagement. Bulletin Technique. CIP Recherche Forestière.

Bowen, R. 1987. Wound response to systemic insecticide injections in white spruce. B.Sc.F. Thesis, School of Forestry, Lakehead Univ., Thunder Bay, Ontario.

Cecich, R.A.; Rudolph, T.D. 1982. Time of jack pine seed maturity in Lake States provenances. Can. J. For. Res. 12:368-373.

Cerezke, H.F.; Holmes, R.E. 1986. Control studies with carbofuran on seed and cone insects of white spruce. Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-280.

DeBarr, G.L.; Barber, L.R.; Maxwell, A.H. 1982. Use of carbofuran for control of eastern white pine cone and seed insects. For. Ecol. Manage. 4:1-18.

Dickman, D.I.; Kozlowski, T.T. 1973. Water, nutrient, and carbohydrate relations in growth of *Pinus resinosa* ovulate strobili. Pages 195-209 *in* Proc. First All Union Symp. Sexual Reproduction in Conifers. Novosibirsk, U.S.S.R.

Ehlers, L.J.; Hoffard, W.H.; Jarrett, S.P. 1978. Evaluation of carbofuran against the white pine cone beetle in northwest Ohio - Test 2, Evaluation Report D-2-78. Forest Insect and Disease Management, Northeastern Area State and Private Forestry, USDA Forest Service, Broomall, PA.

Feilberg, L.; Soegaard, D. 1975. Historical review of seed orchards. Pages 1-8 *in* Faulkner, R., ed. Seed

Orchards British For. Commission Bull. No. 54, London.

Fogal, W.H. 1979. Bionomic sketches of insects and fungal pests of cones and seeds of forest trees in Canada east of the Rockies. Can. For. Serv. Inf. Rep. PS-X-72.

Fogal, W.H. 1988. Seed counts and cone insect foraging damage in relation to cone-collection data and stand type in white spruce. Proc. IUFRO Cone and Seed Insects Working Party Conference. Victoria, B.C.

Fogal, W.H.; Lopushanski, S.M. 1984. Stem injection of insecticides for control of white spruce seed and cone insects. Pages 157-167 *in* Proc. IUFRO Cone & Seed Insects Working Party Conference. Athens, GA.

Fogal, W.H.; Lopushanski, S.M. 1985. A test of foliar-applied systemic insecticides to prevent damage to white spruce cones by insects. For. Chron. 61:499-502.

Fogal, W.H.; Lopushanski, S.M. 1988a. Stem incorporation of systemic insecticides to protect white spruce seed trees. For. Chron. In press.

Fogal, W.H., Lopushanski, S.M. 1988b. Prototype equipment for soil incorporating granular and liquid formulations of insecticides in conifer seed stands. Proc. Entomol. Soc. Ont. 119:81-83.

Fogal, W.H.; Lopushanski, S.M.; MacLeod, D.A.; Winston, D.A. 1988. Soil incorporation of carbofuran for protecting black spruce seed trees from insects. Proc. Entomol. Soc. Ont. 119:71-80.

Fogal, W.H.; Winston, D.A.; Lopushanski, S.M.; MacLeod, D.A.; Willcocks, A.J. 1981. Soil application of carbofuran to control spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Lepidoptera:Tortricidae), in a managed white spruce seed production area. Can. Entomol. 113:949-951.

Haig, R.A.; McPhee, H.G. 1969. Black spruce cone insect control trials, Longlac, Ontario 1967-68. Can. For. Serv. Inf. Rep. O-X-110.

Hastings, A.R.; Avery, A.C. 1968. Bidrin implantation for white pine cone beetle control. A pilot test for natural reseeding. File Report. Northeastern Area State and Private Forestry, USDA Forest Service, Amherst, MA.

Hedlin, A.F. 1973. Spruce cone insects in British Columbia and their control. Can. Entomol. 105:113-122.

Hedlin, A.F.; Yates, H.O.; Tovar, D.C.; Ebel, B.H.; Koerber, T.W.; Merkel, E.P. 1980. Cone and seed insects of North American conifers. Environ. Can., Can. For. Serv./USDA For. Serv./Sec. Agric. Recur. Hidraul., Mexico, Victoria, B.C.

Heinselman, M.L. 1957. Silvical characteristics of black spruce (*Picea mariana*). USDA For. Serv. Lake States Forest Experiment Station. Station Paper No. 45.

Hurley, T.A.; Yeatman, C.W.; Robertson, R.J. 1987. Maturity and viability of seed from squirrel-cut pine cones. For. Chron. 63:268-271.

Konishi, J. 1981. Storage and utilization of orchard seeds. Pages 175-180 *in* Pollard, D.F., et al. Seed orchards and strategies for tree improvement. Proc. 18th Mtg. Can. Tree Improv. Assoc. Part 2. August 17-20, 1981, Duncan, B.C.

Lester, D.T. 1963. Conelet production and floral initiation in red pine in relation to climate. Univ. Wisc. For. Res. Notes No. 100.

Lyons, L.A. 1956. The seed production capacity and efficiency of red pine cones (*Pinus resinosa* Ait.). Can. J. Bot. 34:27-36.

Mattson, W.J. 1971. Relationship between cone crop size and cone damage by insects in red pine seed-production areas. Can. Entomol. 103:617-621.

Matyas, C.; Rauter, R.M. 1987. Feasibility of seed orchard establishment, rogueing and lifespan. For. Ecol. Manage. 19:247-256.

Mergen, F.; Burley, J.; Furnival, G.M. 1965. Embryo and seedling development in *Picea glauca* (Moench) Voss after self-, cross, and wind-pollination. Silvae Genet. 14:188-194.

Miller, G.E.; Hutcheson, D.W. 1981. Aerial spraying for control of the spiral spruce-cone borer, *Hylemya anthracina* (Diptera:Anthomyiidae). J. Entomol. Soc. B.C. 78:3-6.

Morgenstern, E.K. 1982. Tree selection techniques in the northeast: some problems and questions. Pages 145-157 *in* Proc. 28th Northeastern Forest Tree Improvement Conference. Univ. New Hampshire, Durham.

Morgenstern, E.K.; Carlson, L.W., 1979. Tree seed production and tree improvement in Canada -

research and development needs 1977-1987. Can. For. Serv. Inf. Rep. PS-X-74.

Norris, D.M.; Coppel, H.C. 1961. Translocation and stability of Chipman R-6199 in *Pinus strobus* as related to its control of the introduced pine sawfly *Diprion similis*. J. Econ. Entomol. 54:159-161.

Owens, J.N; Blake, M.D. 1986. Production de semences forestières. Revue bibliographique et suggestions de recherche. Serv. can. for. Rapp. d'inf. PI-X-53F.

Owens, J.N.; Molder, M. 1979. Sexual reproduction of white spruce (*Picea glauca*). Can. J. Bot. 57:152-169.

Pree, D.J.; Saunders, J.L. 1973. Bioactivity and translocation of carbofuran residues in mugho pine. Environ. Entomol. 2:262-267.

Pree, D.J.; Saunders, J.L. 1974. Metabolism of carbofuran in mugho pine. Agric. Food Chem. 22:620-625.

Prevost, Y.H.J. 1986. The relationship between the development of cones of black spruce, *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. and their fauna. Ph.D. Thesis. Univ. of Guelph.

Rauf, A.; Cecich, R.A.; Benjamin, D.M. 1982. Carbofuran controls the pine conelet bug in a jack pine seed orchard. Univ. Wisc. For. Res. Notes. No. 250.

Rauter, R.M. 1985. Tree improvement policy guidelines for Ontario with special emphasis on white and black spruce Pages 193-202 *in* Spruce-fir management and spruce budworm. Society of American Foresters. Reprint VI. Technical Conference. April 24-26, 1984, Burlington, Vermont.

Rush, P.A.; Overton, R.P.; Guries, R.P.; Hall, D.J.; Perry, R.S. 1987. Carbofuran trials in a red pine seed orchard. North. J. Appl. For. 4:177-180.

Sarvas, R. 1968. Investigations on the flowering and seed crop of *Picea abies*. Commun. Inst. For. Fenn. 67:1-84.

Schooley, H.O.; Mullin, T.J. 1987. Seed production strategies: current vs. future. Pages 155-169 *in* Morgenstern, E.K.; Boyle, T.J.B., eds. Tree Improvement - Progressing Together. Proc. 21st Mtg. Can. Tree Improv. Assoc. Part 2, August 17-21, 1987. Truro, N.S.

Shea, P.J.; Jenkins, M.J.; Haverty, M.I. 1984. Cones of blister rust-resistant western white pine protected from *Conophthorus ponderosae* Hopkins (= *L. monticolae* Hopkins). J. Georgia Entomol. Soc. 19:129-138.

Smith, C.C. 1981. The indivisible niche of Tamiasciurus: An example of non-partitioning of resources. Ecol. Monogr. 51:343-363.

Sweet, G.B. 1973. Shedding of reproductive structures in forest trees. Pages 341-382 *in* Kozlowski, T.T., ed. Shedding of plant parts. Academic Press, New York.

Tripp, H.A.; Hedlin, A.F. 1956. An ecological study and damage appraisal of white spruce cone insects. For. Chron. 32:400-410.

Werner, R.A. 1964. White spruce seed loss caused by insects in interior Alaska. Can. Entomol. 96:1462-1464.

West, R.J. 1987. Stem implants of acephate for control of cone insects on black spruce. Proc. 15th Ann. Forest Pest Control Forum. November 1987, Ottawa.